

УДК 621.316.72

**Кирисов Игорь Геннадьевич** ассистент кафедры автоматизации энергетических процессов  
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина. Ул. Университетская, 16, г. Харьков,  
Украина, 61003

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДСП ПЕЧЕЙ

*В статье рассматриваются вопросы влияния работы печей ДСП на показатели качества электроэнергии питающей сети. Определены возможные проблемы при работе печей ДСП на питающую сеть. Предложены варианты решения проблемы влияния работы печей ДСП на показатели качества электроэнергии питающей сети.*

**Ключевые слова:** печи ДСП, система электроснабжения предприятий, качество электроэнергии, компенсирующие устройства, показатели качества электроэнергии.

**Кирисов Ігорь Геннадійович** асистент кафедри автоматизації енергетичних процесів  
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна,  
61003

### ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДСП ПЕЧЕЙ

*У статті розглядаються питання впливу роботи печей ДСП на показники якості електроенергії живильної мережі. Визначено можливі проблеми при роботі печей ДСП на живильну мережу. Запропоновано варіанти вирішення проблеми впливу роботи печей ДСП на показники якості електроенергії живильної мережі.*

**Ключові слова:** печі ДСП, система електропостачання підприємств, якість електроенергії, компенсуючі пристрої, показники якості електроенергії.

**Kirisov Igor Gennadievich**, assistant of department of automation of energy processes  
Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkov, Ukraine. Str. Universitetskaya, 16, Kharkov, Ukraine, 61003

### FEATURES OF ENERGY SAVING TECHNOLOGIES OPERATION DSP OVENS

*The article examines the impact of the work of furnaces DCP on quality of electricity supply. Identify potential problems at work furnaces on the supply network. Proposed solutions to the problem of influence of DCP furnaces work on quality of electricity supply.*

**Keywords:** DCP furnaces, electrical system companies, the quality of electricity, compensating devices, power quality.

#### Введение

Металлургические предприятия являются крупными потребителями электроэнергии. Рост потребления электроэнергии определяется увеличением производства электростали за счет применения современных энергетических установок, наиболее мощными из которых являются дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Увеличение доли производства стали в ДСП определяется рядом причин, в том числе тем, что ДСП могут выплавлять любые марки стали, включая высококачественные, специальные, а процесс ведения плавки поддается высокой степени автоматизации.

ДСП является электроприемником с резкопеременным характером нагрузки, оказывающей специфическое влияние на качество электрической энергии (ЭЭ) в питающей сети.

#### Основная часть

Дуговая печь представляет собой футерованный кожух, закрытый сводом, сквозь отверстие в своде внутрь опущены электроды, которые зажаты в электрододержателях, которые соединены с направляющими. Плавление шихты и обработка металла ведется за счет тепла электрических дуг, горящих между шихтой и электродами.

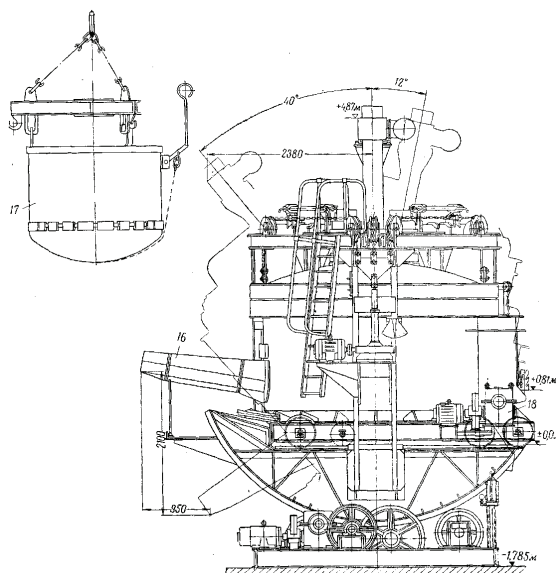


Рис.1. Общий вид ДСП емкостью 6 т

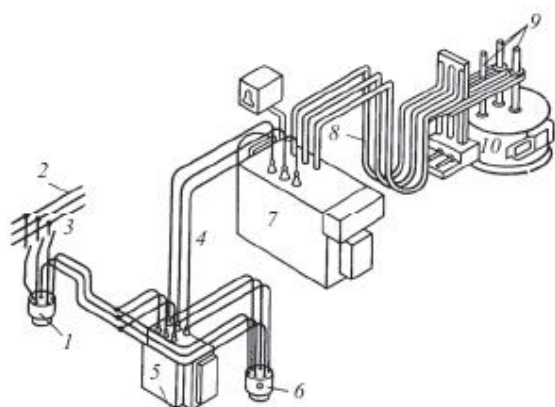


Рис. 2 Схема ДСП6  
 1, 6 – выключатели;  
 2 – высоковольтные шины;  
 3 – разъединитель;  
 4 – высоковольтная сеть;  
 5 – реактор;  
 7 – печной трансформатор;  
 8 – короткая сеть;  
 9 – электроды;  
 10 – электродуговая печь

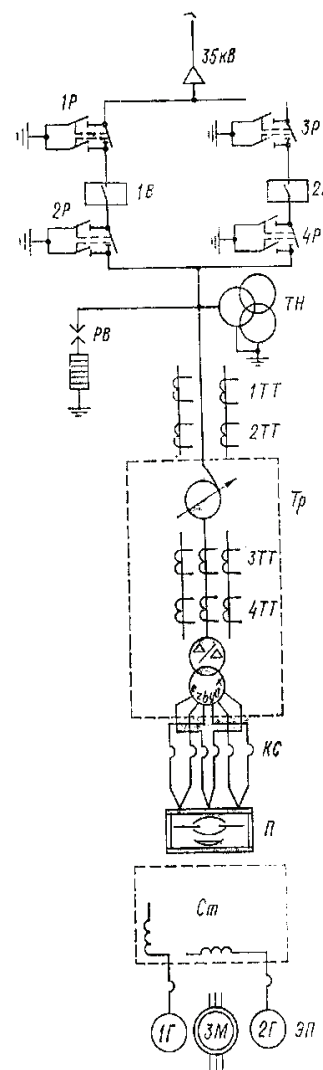


Рис. 3 Схема питания ДСП

Технологический процесс плавки металла в дуговой печи происходит следующим образом. Обработка загруженной в дуговую печь твердой шихты начинается со стадии расплавления, на этой стадии в печи зажигается дуга и начинается расплавление шихты под электродами. По мере расплавления шихты электрод спускается вниз, образуя колодцы для ускорения. Особенностью стадии расплавления является неспокойное горение электрической дуги. Низкая устойчивость дуги объясняется низкой температурой в печи.

Переход дуги с одной шихты на другие, а также многочисленное обрывание дуги эксплуатационными короткими замыканиями, которые вызываются обвалами и перемещениями проводящих кусков шихты. Другие стадии обработки металла находятся в жидком состоянии и характеризуются спокойным горением дуг. Однако требуется широкий диапазон оперативного регулирования и высокая точность поддержания мощности, вводимой в печь. Регулирование мощности обеспечивает требуемый ход металлургической реакции.

Технологический процесс металлургического производства определяет характер потребления электроэнергии ДСП, который имеет ряд особенностей:

1. Нагрузка ДСП является циклической неравномерной, графики нагрузки имеют вероятностный характер.

2. ДСП являются крупными потребителями реактивной мощности, что вызвано значительным реактивным сопротивлением электрической цепи печи.

3. ДСП имеют ярко выраженный резкопеременный характер нагрузки, оказывающей специфическое влияние на качество электрической энергии в питающей сети.

4. Нагрузка ДСП характеризуется несимметричным распределением токов и мощностей по фазам.

5. Режим дуговой печи характеризуется несинусоидальностью токов и напряжений, которая вызвана нелинейностью электрической дуги как приемника электроэнергии.

6. Характерной особенностью режима ДСП является появление при определенных условиях высокочастотных колебаний, частота которых лежит в широком диапазоне частот – от сотен герц до десятков килогерц, а амплитуда доходит до  $(0,4-0,5) U_{\text{л}}$ .

Некоторые из указанных особенностей потребления электроэнергии ДСП негативно влияют на питающую сеть ДСП и основной задачей эксплуатационного персонала, является максимально уменьшить эти влияния.

#### **Влияние резкопеременного характера нагрузки ДСП на качество ЭЭ в питающей сети**

Для анализа влияния печи ДСП на работу электрооборудования на шинах 6 кВ подстанции питающей ДСП-25 в [3] произведены измерения следующих показателей качества электроэнергии (ПКЭ):

- кратковременная доза фликера  $P_{st}$  ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $U_k$  ;
- коэффициенты отдельных гармонических составляющих  $U_{(n)k}$  при  $n=1-11$  и  $13$ ;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $U_{k2}$  .

При сравнении полученных значений ПКЭ с ГОСТ 13109-97 Таблица 1 за допустимые границы выходят следующие ПКЭ:

1. Кратковременная доза фликера  $P_{st}$  находится в диапазоне  $0...23$  при допустимом значении  $1,38$ ;

2. Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $U_k$  составил  $7,4\%$  при допустимом значении  $5\%$ ;

Превышены допустимые значения коэффициентов отдельных гармонических составляющих  $U_{(n)k}$  – для уровней 2, 3, 4, 6, 8, 9 и 10 гармоник.

Поскольку процессы, происходящие в ДСП, носят случайный характер, то использовали вероятностно-статистическую обработку данных, которая включает в себя анализ суточных графиков изменений ПКЭ, построение гистограмм с целью выявления

соответствующих законов распределения и расчета их показателей – числовых характеристик: математического ожидания  $M_x$  и среднеквадратического отклонения.

В [3] построен суточный график изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, %  $U_k$  (Рис. 4). Превышение нормально допустимого значения 5% имеет место около 25 мин в начале каждого цикла работы печи.

Таблица 1

**Оценка показателей качества электроэнергии**

ПКЭ	НДЗ согласно ГОСТ 13109-97	Максимальные значения		
		АВ	ВС	СА
$k_{2U}, \%$	<b>4,0</b>	7,47		
$P_{st}$	<b>1,38</b>	19,2	23	18,5
$k_U, \%$	<b>5,0</b>	7,4	7,0	6,8
$k_{U(2)}, \%$	<b>1,5</b>	3,8	4,2	3,8
$k_{U(3)}, \%$	<b>3,0</b>	5,7	5,7	5,1
$k_{U(4)}, \%$	<b>0,7</b>	2,4	2,4	2,6
$k_{U(5)}, \%$	4,0	3,4	3,0	3,1
$k_{U(6)}, \%$	<b>0,3</b>	1,8	1,6	1,7
$k_{U(7)}, \%$	<b>3,0</b>	1,9	1,9	1,6
$k_{U(8)}, \%$	<b>0,3</b>	1,5	1,3	1,5
$k_{U(9)}, \%$	<b>1,0</b>	1,4	1,2	1,3
$k_{U(10)}, \%$	<b>0,3</b>	1,3	1,0	1,2
$k_{U(11)}, \%$	2,0	1,23	0,99	1,11
$k_{U(13)}, \%$	2,0	0,94	0,84	0,84

Из суточных графиков ПКЭ следует наличие 3-х циклов работы печи ДСП. Длительность одного цикла работы печи около 4,5 часов. В [3] построен график изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, %  $U_{(n)k}$  соответствующий циклу работы ДСП (рис. 5).

Из графиков изменений коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $U_{(n)k}$  видно, что по форме они идентичны графику коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения  $U_k$ .

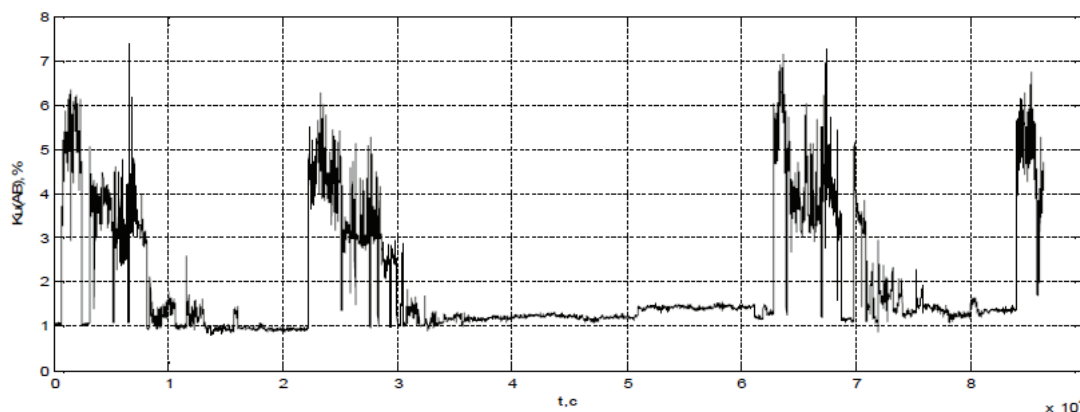


Рис. 4. Суточный график изменения коэффициента искажения синусоидальности  $U_k$  напряжения АВ

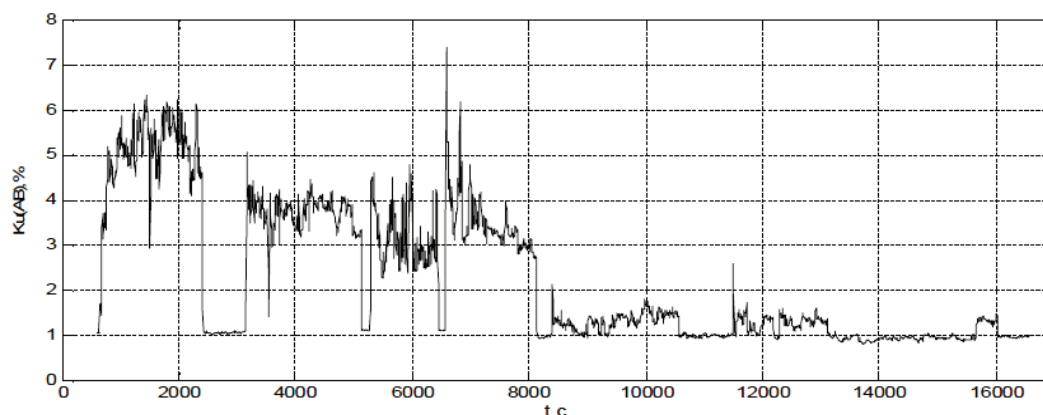


Рис. 5. График изменения коэффициента искажения синусоидальности  $U_k$  напряжения АВ за цикл работы ДСП

### Применение конденсаторов

Поскольку ДСП является источником высших гармоник, то для обеспечения условий электромагнитной совместимости с сетью предусмотрена установка компенсирующих устройств [4].

С учетом высших гармоник конденсаторы для компенсации реактивной мощности включают в составе фильтров. Состав фильтров колеблется от 3 до 6. Включение конденсаторов в составе фильтров не уменьшает размах отклонений и колебаний напряжения, но переводит их в положительную область.

Мощность конденсаторов выбирается из условия, чтобы при неработающей печи напряжение на высокой стороне печного трансформатора не превышало  $1,05 \cdot U_{ном}$ .

Это решение успешно реализовано на сталелитейном заводе, где работает десятитонная печь с трансформатором 10 МВА. Благодаря установке фильтров мощностью 6,3 МВАр достигнуто повышение напряжения в режиме работы печи под током на 3,4 % (с 9,98 до 10,32 кВ) и увеличение мощности, вводимой в печь на 6 % (с 6,48 МВт до 6,87 МВт). Среднее значение напряжения с учетом простоев возросло с 10,14 кВ до 10,42 кВ (рис. 6) [4].

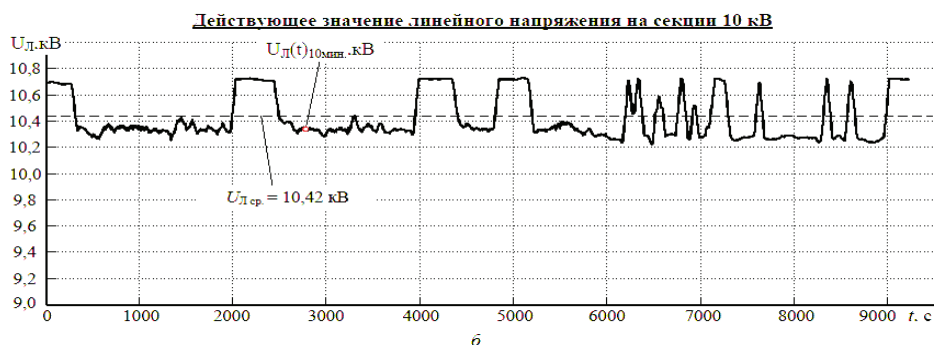
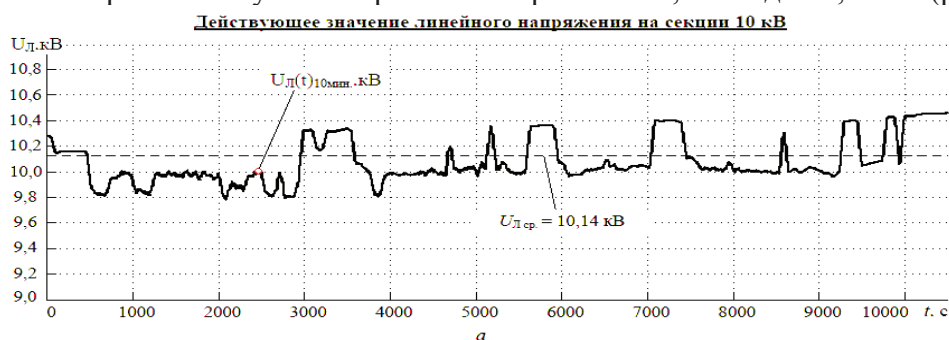


Рис. 6. Графики изменения действующего значения линейного напряжения при работе ДСП-10 без ФКЦ (а), при использовании ФКЦ 6,3 МВАр (б) [4]

### Выводы

1. При использовании конденсаторов в составе фильтров дает положительное влияние на увеличение напряжения и мощности малых ДСП.

2. С целью снижения колебания напряжения в короткую сеть, между сетевым и печным трансформаторами, питающими ДСП следует включить конденсаторную батарею, входящую основной составной частью в устройство продольной компенсации. Таким образом, сопротивление линии уменьшится и снизится потеря напряжения в ней.

### Список использованной литературы:

1. Жежеленко И. В. Технические и организационные вопросы повышения качества электроэнергии в промышленных сетях / И. В. Жежеленко, А. М. Липский, Г. Л. Багиев // Промышленная энергетика, № 9, 1983. – С. 12–15.
2. Кочкин В. Статические компенсирующие устройства / В. Кочкин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, № 1, 2012. – С. 26–27.
3. Гаврилов Ф. А., Цыбуля В. В. Влияние дуговых сталеплавильных печей малых объемов на работу электрооборудования / Ф. А. Гаврилов // Электротехника та електроенергетика Вісник приазовського державного технічного університету № 20, 2010. – С. 241–246.
4. Николаев А. А., Корнилов Г. П., Анохин В. В. Повышение электрической мощности дуговой сталеплавильной печи за счет компенсирующих устройств / А. А. Николаев // Russian Internet Journal of Electrical Engineering. 2015. Vol. 2, no. 3. – P. 3-6

### References:

1. Zhezhelenko I. V. Technical and organizational issues to improve the quality of electricity in industrial networks [Tekhnicheskiye i organizatsionnyye voprosy povysheniya kachestva elektroenergii v promyshlennykh setyakh] / I. V. Zhezhelenko, A. M. Lipsky, G. L. Bagiev // Industrial Energy, № 9, 1983. – P. 12–15.
2. Kochkin V. Static compensating devices [Staticheskiye kompensiruyushchiye ustroystva] / V. Kochkin // East European Journal of advanced technologies, № 1, 2012. – P. 26–27.
3. Gavrilov F. A., Sybulya V. V. The Influence of the arc steel-melting stoves small volume on functioning the electro equipment [Vliyanie dugovykh staleplavil'nyh pechej malyh ob'yomov na rabotu ehlektrooborudovaniya] / F. A. Gavrilov // Electrical engineering that electro energy Priazovskogo technical university 20, 2010. – P. 241–246.
4. Nikolaev A. A., Kornilov G. P., Anohin V. V. Increasing to electric power arc steel-melting stove to account compensating ustroystv [Povyshenie ehlektricheskoy moshchnosti dugovoj staleplavil'noj pechi za schet kompensiruyushchih ustrojstv] / A. A. Nikolaev // Russian Internet Journal of Electrical Engineering. 2015. Vol. 2, no. 3. – P. 3–6.

Поступила в редакцию 25.11 2015 г.